農業長期生態系昆蟲調查、分析應用及注意事項

董耀仁[1*]、許北辰[2*]、楊婉秀[3*]、李奇峯[4]、曾美容[5]、陳淑佩[6]、李啟陽[7]、石憲宗[8*]、許育慈[9]、林立[10]、陳泰元[11]、劉東憲[12]、莊國鴻[13]、陳盈丞[14]、潘佳辰[15]

1,2,3,4,5,6,7,8, 農委會農業試驗所：助理研究員、助理研究員、助理研究員、聘用研究員、約用助理、研究員、助理研究員、研究員兼組長
9 農委會台東區農業改良場：助理研究員
10 農委會花蓮區農業改良場：助理研究員
11 農委會高雄區農業改良場：助理研究員
12 農委會苗栗區農業改良場：助理研究員
13 農委會桃園區農業改良場：副研究員
14,15 農委會台南區農業改良場：助理研究員
*聯繫人 e-mail:yjdong@tari.gov.tw、bchen@tari.gov.tw、whyang@tari.gov.tw、htshih@tari.gov.tw

摘要

地球上大約 80%動物為昆蟲，昆蟲提供我們經常不自覺接受的生態服務。他們是植物授粉者、動物屍體及植物植體殘渣等有機物質分解者，動物糞便清除者、土壤調節者、天然肥料生產者及作物病蟲害調控者。集約化農耕生產，特別是化學農藥的施用，是昆蟲多樣性的降低的主要原因之一，喪失昆蟲所提供的生態服務功能，直接對農業生產造成嚴重的影響，進而導致人類糧食供應的危機。農業生態系長期昆蟲調查，能幫助農政單位明瞭，不同農耕操作方式、氣候變遷及環境變化等因素影響之下，長期對昆蟲多樣性及所提供生態服務功能的影響，作為政策研擬有力的科學性佐證依據。欲達成上述目標，有賴標準化執行調查工作，資料長期格式化保存、跨領域分享及分析應用。

關鍵字：農業長期生態、昆蟲、監測調查、資料分析應用

前言

昆蟲生物多樣性，支持農業生態系中，害蟲生物防治及授粉等生態服務功能 (Dainese *et al*. 2019)。上述兩種生態服務功能，與糧食生產、營養安全以及人類福祉有關，兩者的全球預估所提供價值，保守估計分別為每年每公頃 24 美元及 14 美元 (Costanza *et al*. 1997)。在亞太地區，昆蟲天敵減輕了入侵害蟲的危害，將作物產量提高了 73%至 100%，每年因昆蟲天敵的害蟲調節服務，產生 146 億美元至 195 億美元的農場收益 (Wyckhuys *et al*. 2020)。

昆蟲在所有陸地生態系統中都很豐富，並且顯示出物種之間的廣泛差異 (Gullan & Cranston 2010)。由於昆蟲數量眾多及所提供的生態系統服務，昆蟲在農業生態系中的功能意義重大 (Samways 1993)。昆蟲是不同生態系統中的關鍵組成部分，是生態系統中服務功能的主要參與者，由於昆蟲大多被視為害蟲或潛在害蟲，因此昆蟲的這種生態重要性常常被忽視。在農業生態系統中昆蟲的主要服務功能是生態系統循環、授粉、捕食/寄生和分解 (Kim 1993)。

現代農業採集約化生產，包括將農場擴展為大型商業企業，同時將重點轉移到單一栽培，以及增加化學肥料和化學合成農藥的投入 (Emmerson *et al*. 2016; Raven & Wagner 2021)。在這樣的系統中，還更加強調消除雜草、砍伐樹籬和樹木以促進田間機械化。地表水道也進行了改造，包括溪流渠道化，以緩解流動並改善農田的灌溉和排水。這些集約化做法大大減少了昆蟲、草本植物、食蟲脊椎動物和其他生物的避難所，從而導致生物多樣性的全面下降，包括物種數量和生物量 (Wilcove *et al*. 1998; Emmerson *et al*. 2016; Zabel *et al*. 2019)。

在過去十年中，德國陸地生態系統中的節肢動物生物量下降了 41% 至 67%，這是由人為因素(例如，棲息地喪失和農藥污染)、農業集約化和氣候變化驅動的 (Zhou *et al*. 2023)。通過長期調查或在其他環境中進行的比較歷史研究記錄，在西歐或北美呈現了類似的現象 (Stepanian *et al*. 2020；Wagner *et al*. 2021)。昆蟲在農業生態系統中佔據顯著位置並充當主要生態系統服務提供者，昆蟲的長期減少將對社會福祉產生負面影響 (Dainese *et al*. 2019；Wyckhuys *et al*. 2020；Zhou *et al*. 2023)。農業長期生態系昆蟲調查，能幫助明瞭長期不同農耕方法操作及氣候、環境變遷之下，昆蟲族群對應所產生的變化及後續衍生對農業生產及社會福祉的影響，可作為政府施政參考之重要依據，具有重大的研究意義。

我國農業長期生態系昆蟲調查演進

臺灣的農業環境多元，2020 年之前，行政院農業委員會 (下稱農委會) 所屬各場試所參與 "農業長期生態調查計畫" 的機關，僅有農業試驗所 (下稱農試所)、台南區農業改良場、茶葉改良場與苗栗區農業改良場。重點主要是瞭解不同管理模式 (如高低施肥量、輪作)，作物產量與病蟲害變化的相互關係，但受限於資源和人力之故，在原農業長期生態調查各樣站的昆蟲監測，僅限於分析特定瓢蟲族群動態，但缺乏此些瓢蟲的食餌(即害蟲)族群動態調查資料，因此無法客觀反映不同農業操作系統的農業昆蟲(益蟲和害蟲)族群動態的變化因素。

有鑑於此，農委會支持擴大農業長期生態調查監測站，並針對以往待補強 的昆蟲鑑定與昆蟲組成分析，列為各擴充樣站的重點研究項目，從農業生態環境、農業生產管理措施、農作經濟規模、氣候變化等議題之相互關係，提供農政部門研擬可兼顧農

業產業與生態環境的政策配套規劃或法令調整，俾使農業長期生態研究主動納入農業主客觀條件，達到同時具備基礎與應用的研究功能。自 2020-2023 年開始進行樣站擴充規劃與勘查，其樣站擴充概況，可依年度區分為四階段， (1) 2020 年於全台增設 8 個農業陸域和 2 個漁業水域之長期監測站；(2) 2021 年擴充台東長濱樣站 (由農試所和台東區農業改良場合作)；(3) 2022 年擴充南投縣埔里百香果樣站 (由農業試驗所和台中區農業改良場合作)；(4) 2023 年擴充彰化縣大村葡萄樣站 (由農業試驗所和台中區農業改良場合作)。總結本細部計畫的陸域昆蟲鑑定樣站，至 2023 年已達 10 站 (詳見附錄，其中屏東枋寮因樣站特性，僅監測芒果重要植物病害發生程度)。

2020-2022 年間，於指標昆蟲瓢蟲部分，已調查到 25 屬，超過 10000 隻瓢蟲，其中含植食性瓢蟲有 6 種、食菌性瓢蟲 1 種，其餘 47 種為食蟲性瓢蟲，總計至少 54 種瓢蟲，約占台灣已之瓢蟲種類的 22.4%，其中捕食性瓢蟲種類占比約 88.9%，與文獻中紀載比例相近。調查到的食蟲性瓢蟲中以變斑隱勢瓢蟲 [*Cryptogonus orbiculus* (Gyllenhal)] 數量最多、其次為台南方瓢蟲 [*Sasajiscymnus tainanensis* (Ohta)] 及六條瓢蟲 [*Cheilomenes sexmaculata* (Fabricius)]。上述三種瓢蟲於 8 個樣站中均有發現，為農業生態樣區中分佈最廣之瓢蟲；植食性瓢蟲中，以茄二十八星瓢蟲 [*Henosepilachna vigintioctopunctata* (Fabricius)] 之數量最多且分佈於最多樣站，食菌性瓢蟲雖然僅調查到黃瓢蟲(*Illeis koebelei* Timberlake)1 種，但於所有樣站皆有分佈。8 個陸域樣站中 (許等，2022)。

目前調查到瓢蟲種類數最多者，為苗栗西湖文旦園樣站，其次依序為新竹峨眉桶柑樣站、花蓮富里水稻樣站、台東卑南釋迦樣站、台東池上水稻樣站、台南麻豆文旦樣站及高雄燕巢印度棗樣站。不同樣站間的地理景觀可能為影響瓢蟲種類多樣性的原因。富里及池上水稻樣區一、二期作之優勢瓢蟲，皆為橙瓢蟲及六條瓢蟲，一期作優勢瓢蟲種類數多於二期作，優勢指標瓢蟲於不同農法間發生數量尚無確定趨勢，顯示除農事操作外，生態地景因素可能亦為影響瓢蟲族群重要因子；不同果樹樣區間優勢瓢蟲種類存在差異性，但台南方瓢蟲為 6 個果樹樣站的共通優勢瓢蟲物種，台南方瓢蟲詳細生物學資料目前尚未知，但依文獻中關於同屬瓢蟲食餌紀錄，台南方瓢蟲可能為蚜蟲或介殼蟲等害蟲之天敵。有機農法果園較慣行農法果園存在更多優勢瓢蟲，顯示有機農法的生態農業模式，可維持昆蟲天敵在農業生態系中的害蟲調節功能，有助於壓制害蟲族群爆發，減少化學農藥等防治措施投入，增進農友收益。

於 8 個農業樣站中調查中，共分類出 17 目，超過 40 萬隻昆蟲，其中半翅 目、雙翅目及膜翅目昆蟲，為 8 個農業樣站共同優勢分類群。在麻豆文旦、西湖文旦、峨眉桶柑、卑南番荔枝及燕巢印度棗 5 個陸域樣站中，直翅目昆蟲及膜翅目蟻科昆蟲於所有有機樣區調查數量均顯著高於慣行樣區，顯示慣行樣區農業集約化操作模式對昆蟲數量降低的影響，此與國際長期農業生態系昆蟲數量調查研究有相同結果。直翅目昆蟲與膜翅目蟻科，具有作為有機農耕指標昆蟲潛力(資料見附錄)。

昆蟲在農業生產與人類福祉的重要性已被證實，農業長期生態調查工作中，無法忽視影響昆蟲族群變化的因子，長期昆蟲調查資料更是農友及農政單位決策時，不可缺少的科學性佐證依據。目前本計畫，於陸域樣站調查結果，已初步呈現半翅目及雙翅目昆蟲，為所有陸域樣站中，於有機農耕與慣行農耕模式下，均為最優勢的昆蟲分類群，其中葉蟬科為 8 個農業樣站，半翅目昆蟲中之優勢科；搖蚊科為富里及池上水稻樣站一期作及二期作，雙翅目昆蟲中之優勢科。本期程我們將致力完成農業長期生態優勢昆蟲科級鑑定圖鑑，針對現有共同優勢昆蟲科及個別樣站特有的優勢昆蟲科，

建立其鑑定特徵依據、經濟及生態重要性資料，並藉辦理[農業長期生態及昆蟲鑑定工作坊]，提升團隊伙伴執行能力，加速計畫執行進度，促進整體研究成果的量能展現。

農業長期生態系昆蟲調查，所累積調查資料，當本計畫執行時間超過 3, 5, 10, 15, 30, 50 年以上之後，可據以分析農業長期氣候、農耕操作模式及地景生態景觀等因子影響，即可看出各監測站及監測站內各監測點(不同農法) 其昆蟲組成的變化，我們也可以從短期至長期的變化，進一步釐清每一時段的可能變化原因，向農友或農政機關，提出具有科學依據論述，且符合實務(兼顧環境永續與經濟效益)需求的建議，包括配套政策工具或改良型的農業操作策略。

昆蟲在農業生態系統重要性

為不斷增長的人口生產足夠的糧食已成為全球關注的問題。目前世界上幾乎所有的肥沃土地都在使用中，耕地面積已經無法大幅擴大。全球面臨的挑戰是如何確保高產和優質產量，並使農業生產與環境生態能兼容。自從人類從事農作物種植以來，害蟲就伴隨著農作物生長發生，昆蟲與植物間是一種相互作用關係 (Samways 1993)，全世界的昆蟲中，大約 50% 的昆蟲種類是植食性的，其中大多數植食性昆蟲以一個或幾個相近植物科的植物為食 (Schoonhoven *et al*. 2005)。植食性昆蟲對全世界以化學防治方法控制害蟲為害的農業生產造成 18% 的損失 (Losey & Vaughan 2006)。儘管植食性昆蟲造成這些損失，但只有不到 0.5% 昆蟲種類被認為是害蟲。除了以人類為中心的觀念和社會偏見之外，昆蟲在生態背景下並不是害蟲 (Kim 1993)。

昆蟲影響人類的生存，因為沒有昆蟲提供的生態服務功能，農作物就無法生產收穫，世界上超過 72% 的作物依賴昆蟲授粉 (Dicke 2017)，授粉昆蟲提高或穩定了全球四分之三的所有作物類型的產量，按體積計算佔全球作物產量的三分之一 (Garibaldi *et al*. 2013)，而且已知多種昆蟲與作物種子產量有關 (Hoehn *et al*. 2008)。授粉昆蟲類類包括數百種的獨居蜂、熊蜂、蠅類、甲蟲和蝴蝶，有時野生蜜蜂授粉比人工飼養蜜蜂更重要 (Garibaldi *et al*. 2013)。據估計，全世界農作物產量中，昆蟲的授粉服務對作物產量的貢獻率為 9.5% (Gallai *et al*. 2009)。

全球 80%開花植物由昆蟲授粉，動物授粉者為 87 種全球作物的生產做出貢獻，包括來自 200 個國家/地區的可可 (*Theobroma cacao*)、獼猴桃 (*Actinidia deliciosa* var. *deliciosa*)、百香果 (*Passiflora edulis*) 和西瓜 (*Citrullus lanatus*)，這些作物中有 30% 參與了全球經濟糧食生產 (Khalifa *et al*. 2021)。全球授粉的經濟價值平均為 1530 億歐元，佔 2005 年世界農業生產的 9.5%。一噸不依賴昆蟲授粉的作物產量價值約為 151 歐元，而依賴授粉媒介的作物的平均價值為 761 歐元 (Gallai *et al*. 2009)。在美國，昆蟲授粉每年就產生高達 160 億美元的價值，其中僅來自蜜粉授粉所產生的價值便達 120 億美元 (Calderone 2012)。

害蟲防治是農作物生產過程中不可避免的，作物害蟲之昆蟲天敵於農業生態系統中發揮生物調節的重要生態服務功能。超過 75%的田間調查研究顯示，通才捕食者 (generalist predators) 顯著減少了農田中的害蟲數量 (Symondson *et al*. 2002)。步行蟲是農田中主要的通才捕食者，可有效減少農作物重要經濟害蟲如穀物蚜蟲、鱗翅目幼蟲、植食性甲蟲及菜蛆 (*Delia radicum* L.) 等雙翅目害蟲的數量 (Kromp 1999) 。自然存在的昆蟲天敵對成功控制作物害蟲具有關鍵的經濟和生態重要性，評估害蟲天敵負責農田生物害蟲控制的效果估計可達 50-90% ，僅在美國，昆蟲天敵對作物害蟲生物防治所帶

來的經濟效益一年可達 44.9 億美元，在中國華北平原棉花生產中，將目前棉田的瓢蟲密度提高一倍估計可為棉農帶來 3 億美元的收益，即使在目前殺蟲劑使用水平很高的情況下，額外的一隻瓢蟲也能為農民帶來 0.05 元人民幣(約合 0.01 美元-當時貨幣)的經濟效益 (Pimentel 2005；Losey & Vaughan 2006；Huang *et al*. 2018)。

昆蟲在改良農業土壤方面也很重要，通過它們在土壤中的活動，糞金龜增加了氮、磷、鉀、鈣和鎂或總蛋白質含量，與施用化學肥料相較，顯著提高了小麥的產量 (de Groot *et al*. 2002)。螞蟻築巢活動和螞蟻巢內食物資源的集中，會影響土壤條件並改變重要的地下生物群落。螞蟻通常將它們的巢穴保持在一個常溫高於環境空氣溫度的恆溫環境中，在資源、養分和恆溫等條件下，螞蟻巢穴可以成為多樣性熱點，是共生和寄生昆蟲物種的家園(Frouz & Jilková 2008；Campbell & Crist 2016)。在巢穴中，螞蟻活動可以通過三個過程改變土壤養分和 pH 值：(1) 螞蟻可以在築巢過程中移動、分離和改變土壤物質； (2)築巢可以通過改變巢內環境條件間接改變養分的溶解度；(3) 螞蟻覓食將食物資源和廢棄物集中在巢穴內(Cammeraat & Risch 2008)。巢土變化的性質取決於原始土壤條件。以 pH 為例，螞蟻活動通常會中和巢穴土壤(Frouz & Jilková 2008)。

除了上述服務功能外，在全球實現環境可持續糧食安全的背景下，可食用昆蟲作為人類未來的食物已成為人們日益關注的問題 (Lange & Nakamura 2021)。

長期農業生態昆蟲調查必要性

隨著人們對全世昆蟲數量變化趨勢的日益關注，對昆蟲族群數量變化的標準化研究變得越來越重要和需要。越來越多的人認識到昆蟲種群可能正在減少，這引起了科學家對昆蟲種群長期監測的新呼籲，以及廣大公眾參與昆蟲調查工作的願望。然而，由於昆蟲的多樣性和數據收集方法的多樣化，長期昆蟲監測方法普遍缺乏標準化，因此突然和無計劃地擴大數據收集，缺乏對標準和最佳監測方法的協調關注，所得資料可能無法滿足對昆蟲生態潛力評估或保育等政策需求 (Montgomery *et al*. 2021)。

在全球科學研究證據的支持下，昆蟲普遍減少的威脅引發了廣泛而直言不諱的討論及憂慮(Conrad *et al*. 2006；Hallmann *et al*. 2017；van Klink *et al*. 2020)。但即使是這種昆蟲減少的趨勢被研究者關注，特定分類群及不同地區昆蟲減少的驅動因素仍不清楚 (Fox 2013; Wagner 2020)。研究人員需要對農業生態系統中，昆蟲的豐度和多樣性進行更系統、更長期的監測，儘管許多監測計劃已經存在，但調查時間足夠長，可以得出有關昆蟲種群和多樣性隨時間變化的穩健、獨立結論的研究卻相對較少，並且這些監測計劃在地理和分類學覆蓋範圍內必然受到限制 (Shortall *et al*. 2009)。目前關於農業長期生態系長期且完整的昆蟲調查數據非常有限，長期監測工作早就應該進行，但由於多種原因而被阻止，包括缺乏資金、動力和組織等。目前鑑於昆蟲數量減少受到重視及生態農業發展受到關注，有助於廣泛、長期的農業生態系昆蟲調查工作的執行與發展。

長期農業生態昆蟲調查方法

陸域節肢動物為生態系統中的重要組成，對不同昆蟲分類群標準化監測方法，需考量各種野外環境條件，並針對不同目標，快速、準確且可靠地對它們進行普查顯得尤為重要。除傳統使用之掃網法(Sweep Netting)及黃色黏蟲紙(Sticky Card Trapping)外，尚包括：馬氏網 (Malaise Trapping)、燈光誘集 (Light Trapping)、盤式誘捕器 (Pan

Trapping)、掉落式陷阱 (Pitfall Trapping)、拍打片 (Beating Sheets)、聲學監測 (Acoustic Monitoring) 及主動目視調查 (Active Visual Surveys)。

掃網法：為簡單且常用的昆蟲採集方法，以昆蟲網在植被或草地中以畫 8 字的方式橫掃，其方法操作簡單，不需要複雜的設備或專業知識，任何人都可以快速上手。與其他昆蟲採集方法相比，掃網法具有很強的適應性和廣泛性，可以在短時間內捕捉到大量昆蟲樣本(Yi *et al*. 2012)，且設備成本較低，對環境的影響較小。與其他利用化學物質、視覺或其他形式的誘引採集法來說，掃網為較被動式的採集法，對於目標昆蟲的族群密度及易捕捉性較無偏差 (Melbourne 1999; Mazon and Bordera 2008; Yi *et al*. 2012)。掃網方法主要適用於活動於植被表面的昆蟲，對於生活在樹冠、地下或其他隱蔽處的昆蟲，採用其他採集方法可能更為合適。

黃色黏蟲紙：各色黏蟲紙顏色的作用已在許多昆蟲種類上應用，昆蟲對不同顏色的偏好與其所取食的植物部位有關(Chu *et al*. 2000; Chen *et al*. 2004)。黃色黏蟲紙小型的刺吸式昆蟲(如粉蝨、薊馬與葉蟬)及其天敵昆蟲皆具吸引力(Wallis and Shaw, 2008; Reddy and Rajan, 2016)。使用黏紙調查設備成本低，可以在特定區域內多次使用，但缺點為黏膠不易從樣本上移除，可能對樣本造成損害。

馬氏網：僅適用於監測飛行性昆蟲，包括雙翅目、膜翅目、半翅目、鱗翅目及半水生昆蟲分類群等。放置位置十分重要，通常應沿著自然飛行走廊(例如，溪流或灌木叢之間的間隙)放置，以最大限度地提高捕獲量 (Malaise 1937；Montgomery *et al*. 2021)。

燈光誘捕：燈光誘捕是調查夜間飛行昆蟲的最常見和最有效的方法之一，燈光誘捕適用於監測陸地和水生棲息地的趨光性夜間飛行昆蟲，並用於調查範圍廣泛的昆蟲分類群。燈光誘蟲器提供了一個收集標準化和可比較數據的機會，但許多因素會影響燈光誘捕昆蟲的數量和組成，包括誘蟲器類型、季節、一天中的時間、採樣持續時間和光源等。雖然燈光誘蟲器可以吸引周圍環境中的昆蟲，但在超過 30 公尺以上的距離很少會吸引昆蟲，因此陷阱位置周遭環境將影響被捕獲的生物 (Liu *et al*. 2007；Macgregor *et al*. 2017；Montgomery *et al*. 2021)。

盤式誘捕器：盤式誘捕器是裝滿液體的托盤，用來收集昆蟲。盤式誘捕器適用於監測飛行昆蟲。它可有效採樣蚜蟲(半翅目)、薊馬(纓翅目)、蜜蜂和寄生蜂(膜翅目)、蒼蠅(雙翅目)、一些甲蟲(鞘翅目)，甚至一些蝗蟲(直翅目)。每個分類群的誘捕效果隨盤顏色的不同而有很大差異，黃色陷阱通常收集最大的捕獲量和最高的總昆蟲多樣性，盤式誘捕器通常放置在目標昆蟲可以看到的開闊區域。陷阱可以放置在一起，最短間隔距離為 5 m，此為它們不會相互影響的最小距離 (Moericke 1951；Vrdoljak & Samways 2012；Montgomery *et al*. 2021)。

掉落式陷阱：掉落式陷阱是放置在與地面齊平的容器，用於捕捉地棲(表生)昆蟲。最適合對地棲甲蟲(鞘翅目)及螞蟻(膜翅目：蟻科)進行採樣，陷阱之間 25 m 的距離可確保樣本的獨立性 (Skvarla *et al*. 2014；Montgomery *et al*. 2021)。

拍打片：拍打片是由框架支撐的一塊織物，其放置在感興趣的物體(例如樹枝)下方。然後就由搖動或擊打，使昆蟲落在可以收集或記錄的織物上。這種主動採樣方法通常與吸氣器結合使用，以吸取快速移動的分類群。目前，最常見的設計是兩塊木頭或 PVC 管形成一個“X”，後面拉伸一塊白色織物 (例如床單)。替代設計包括簡單地將床單放在地上，甚至使用雨傘。拍打片適用於對棲息在樹木和灌木叢中的昆蟲進行採樣 (Hurlbert *et al*. 2019；Montgomery *et al*. 2021)。

聲學監測：聲學監測器提供了一種被動的、非破壞性的方法來檢測和識別昆蟲，

聲學監測是監測在通信中使用聲音或振動的昆蟲的適當方法，聲學監測特別適用於響亮的陸生昆蟲，例如直翅目或蟬總科，因為它們會產生特定物種的求偶叫聲，根據聲音的振幅和頻率、地形和植被等景觀異質性以及天氣，在環境噪聲之上可檢測到聲信號的距離會有所不同，建議可將生物聲學設備放在固定位置 (Penone *et al*. 2013；Gibb *et al*. 2019；Montgomery *et al*. 2021)。

主動目視調查：主動目視調查通常用於記錄昆蟲的豐度和多樣性，需要付出巨大的努力，而且對於大量昆蟲物種來說不容易同時進行。適用於在野外可以輕鬆檢測和識別或拍攝的大型昆蟲。蝴蝶、蜻蜓和豆娘以及大黃蜂等大型蜜蜂可適用視覺調查進行有效採樣 (Schmucki *et al*. 2016；Wepprich *et al*. 2019；Montgomery *et al*. 2021)。

除專注於調查監測工作外，亦不能忽略昆蟲標本以供後續鑑定。鑑定後，通常由科學家決定是應該保留還是丟棄標本。因此，應格外小心，確保標本得到妥善保存。在 80-95% 的乙醇中保存標本以更好地保存 DNA 變得越來越普遍。無論採用何種保存方法，都值得在開始監測項目之前，製定標本存放和編目計劃。最佳情況下，檔案存放應包括所有調查記錄以及標本，以提高長期再利用價值 (Heraty *et al*. 2020；Montgomery *et al*. 2021)。

就像物理標本一樣，數據是未來科學的寶貴資源，長期農業生態系昆蟲調查，所收集的數據需要被數據化並上傳到網站或在線數據庫，這些網站或在線數據庫的建立是為了保存有關收集方法的數據。最近的努力呼籲統一的全球監測標準，雖然一個數據標準不太可能適用於所有昆蟲監測。與標本一樣，在開始監測項目之前考慮數據管理計劃至關重要，數據標準是該計劃的關鍵部分。然而，其他因素也很關鍵，包括開發本地數據存儲解決方案、決定長期數據存儲庫、確保為參與數據收集的人員提供適當的信用模型，以及數據產品的許可和使用協議 (Michener 2015；Montgomery *et al*. 2021)。

長期農業生態昆蟲調查資料分析應用

長期農業生態系昆蟲調查資料可供分析(1)昆蟲發生及分佈；(2)物候學資料；(3)豐度與生物量；(4)多樣性與物種組成 (Montgomery *et al*. 2021)。

昆蟲發生及分佈：長期農業生態系昆蟲的發生及分佈的變化，是表明農耕操作、氣候、作物及環境變化如何影響昆蟲族群及多樣性的重要指標。長期昆蟲的發生及分佈監測資料，可能是最常被分析應用的資料，特別是對於農業生態系統中入侵種及氣候變化所導致昆蟲分佈範圍變化的情況 (Boyes *et al*. 2019；Outhwaite *et al*. 2019)。

物候學：長期物候學監測資料，可以表示調控昆蟲族群生命週期時間因素的變化，從溫度和降雨模式到植物的開花期。昆蟲因物候學不同所導致的變化可能會使它們與生態系中其他類群(從植物到鳥類)產生發生時期的不匹配，並可能進一步對這些類群的族群數量產生重大的影響，目前有關昆蟲物候變化的記錄很少，但最近對氣候變化影響的興趣促使人們在監測工作中更加關注昆蟲物候學 (Gimesi 2012；Visser & Gienapp 2019)。

豐度與生物量：昆蟲在農業生態系中，豐度和生物量的趨勢變化，都是評估生態系統的重要衡量標準，對於了解生態系統的健康狀況，以及為何需要採用保護和管理措施的依據非常重要。評估農業生態系中昆蟲的豐度和生物量，通常需要昆蟲存在和不存在數據，以及每個昆蟲分類群個體的準確計數。這種監測形式資料上很少見，但

在引起近期人們對昆蟲數量減少的興趣方面可能是最具影響力的(Hallmann *et al*. 2017；Wepprich *et al*. 2019)。

多樣性與物種組成：農業生態系昆蟲生物多樣性的變化，例如物種多樣性和組成，代表昆蟲群落如何應對環境變化。估計昆蟲多樣性和物種組成，通常需要農業生態系中，多個昆蟲分類群的存在和消失數據，並期望跨分類群的抽樣可能性相同。與豐度、生物量和物候監測相比，監測昆蟲多樣性和組成變化工作相對普遍(Brooks *et al*. 2012；Valtonen *et al*. 2017)。

農業長期生態系昆蟲調查資料，可提供農友及政府決策參考資訊，害蟲發生物候期長期變化資訊，協助農友即時因應害蟲出現，採取適當的防治措施，減少對作物損害 (Ziesche *et al*. 2020)。在英國與蚜蟲相關的經濟損失每年可能達到 1.9 億英鎊。羅漢姆斯特研究中心昆蟲調查(Rothamsted Insect Survey, RIS)成立於 1964 年，是一個遍布英國的昆蟲誘捕器網絡，目前包括 80 個大型飛蛾燈光誘捕器和 16 個蚜蟲吸入誘捕器。RIS 藉由長期的蚜蟲調查工作，迄今創建了世界上最廣泛的昆蟲種群和隨時間遷徙的長期數據集所得調查資料。這些資料應用包括：1.農友通過採取預防措施，施減少蚜蟲造成的損害；2.政府鼓勵農友適時殺蟲劑，降低生產成本及預防蚜蟲抗藥性演變的可能性；3.為政府減少對授粉昆蟲的危害的決策提供信息；4.就由檢測入侵昆蟲物種的到來和傳播，以及氣候驅動的現有昆蟲威脅的增加，有助於政府評估氣候變化的影響，並為緩解這些影響的策略提供信息；5. RIS 提供的調查數據和昆蟲樣本幫助英國和世界各地的科學家對氣候變化、光污染和昆蟲減少的原因等主題進行富有成效的研究 (Insect Survey aids decision-making for farmers and environment)。

結語

昆蟲和陸生節肢動物被認為是物種豐富度的最大貢獻者，昆蟲約佔所有已知物種的 66%，佔當今全球生物多樣性的四分之三以上，已知昆蟲約有 100 萬種，(Kim 1993；Samways 1993；Samways 2005；Zhang 2011；Stork *et al*. 2015；Dicke 2017)。雖然植食性昆蟲對全世界的農業生產造成 18% 的損失 (Losey & Vaughan 2006)，但只有不到 0.5% 昆蟲種類被認為是害蟲。然而昆蟲所提供的生態系統服務的全球價值估計為每年 33 萬億美元 (Costanza *et al*. 1997)。農業長期生態系，標準化昆蟲調查資料，經由格式化妥善保存與分析，可提供種植農友農耕操作及政府農業政策的決定依據。此外，尚可提供模擬不同氣候及環境情境下，農業害蟲發生及變化趨勢所需參數資料。就由跨領域專家的協同研究，有助於我國農業生產的永續發展。

參考文獻

1. 許北辰、董耀仁、石憲宗、李奇峯、曾美容、陳淑佩、李啟陽、許育慈、林　立、陳泰元、劉東憲、莊國鴻、陳盈丞。2022。農業生態系長期昆蟲普查。2022 農業生態系長期生態研究研討會專刊。P. 9-29.
2. Boyes, D. H., R. Fox, C. R. Shortall, and R. J. Whittaker. 2019. Bucking the trend: the diversity of Anthropocene ‘winners’ among British moths. Front. Biogeogr. 11:3862. doi: 10.21425/F5FBG43862
3. Brooks, D. R., J. E. Bater, S. J. Clark, D. T. Monteith, C. Andrews, S. J. Corbett, D. A. Beaumont, and J. W. Chapman. 2012. Large carabid beetle declines in a United Kingdom

monitoring network increases evidence for a widespread loss in insect biodiversity. J. Appl. Ecol. 49, 1009–1019. doi: 10.1111/j.1365-2664.2012.02194.x

4. Calderone, N.W. 2012. Insect pollinated crops, insect pollinators and US agriculture: Trend analysis of aggregate data for the period 1992–2009. PLoS ONE 2012, 7, e37235.
5. Cammeraat, E. L. H., and A. C. Risch. 2008. The impact of ants on mineral soil properties and processes at different spatial scales. J. Appl. Entomol. 132:285–294. https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2008.01281.x
6. Campbell, K. U., and T. O. Crist. 2016. Species traits and environmental characteristics together regulate ant-associated biodiversity. Ecol. Evol. 6:6397–6408. https://doi.org/10.1002/ece3.2276
7. Chen T. Y., Chu C. C., Fitzgerald G., Natwick E. T., Henneberry T. J. 2004. Trap evaluations for thrips (Thysanoptera: Thripidae) and hoverflies (Diptera: Syrphidae). Environ. Entomol. 33(5): 1416-1420
8. Chu C. C., Pinter P. J. Jr, Henneberry T. J., Umeda K., Natwick E. T., Wei Y. A., Reddy V. R., Shrepatis M. 2000. Use of CC traps with different trap base colors for silverleaf whiteflies (Homoptera: Aleyrodidae), thrips (Thysanoptera: Thripidae), and leafhoppers (Homoptera: Cicadellidae). J Econ Entomol. 93(4):1329-37.
9. Conrad, K. F., M. S. Warren, R. Fox, M. S. Parsons, and I. P. Woiwod. 2006. Rapid declines of common, widespread British moths provide evidence of an insect biodiversity crisis. Biol. Conserv. 132, 279–291. doi: 10.1016/j.biocon.2006.04.020
10. Costanza, R., R. d'Arge, R. D. Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Suttonkk, and M.V. D. Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature. 387: 253-260. https://doi.org/10.1038/387253a0
11. Dainese M, E. A. Martin, M. A. Aizen, M. Albrecht, I. Bartomeus, R. Bommarco, L. G. Carvalheiro, R. Chaplin-Kramer, V. Gagic, L. A. Garibaldi, J. Ghazoul, H. Grab, M. Jonsson, D. S. Karp, C. M. Kennedy, D. Kleijn, C. Kremen, D. A. Landis, D. K. Letourneau, L. Marini, K. Poveda, R. Rader, H. G. Smith, T. Tscharntke, G. K. S. Andersson, I. Badenhausser, S. Baensch, A. D. M. Bezerra, F. J. J. A. Bianchi, V. Boreux, V. Bretagnolle, B. Caballero-Lopez, P. Cavigliasso, A. Ćetković, N. P. Chacoff, A. Classen, S. Cusser, F. D. da Silva E Silva, G. A. de Groot, J. F. Dudenhöffer, J. Ekroos, T. Fijen, P. Franck, B. M. Freitas, M. P. D. Garratt, C. Gratton, J. Hipólito, A. Holzschuh, L. Hunt, A. L. Iverson, S. Jha, T. Keasar, T. N. Kim, M. Kishinevsky, B. K. Klatt, A. M. Klein, K. M. Krewenka, S. Krishnan, A. E. Larsen, C. Lavigne, H. Liere, B. Maas, R. E. Mallinger, E. Martinez Pachon, A. Martínez-Salinas, T. D. Meehan, M. G. E. Mitchell, G. A. R. Molina, M. Nesper, L. Nilsson, M. E. O'Rourke, M. K. Peters, M. Plećaš, S. G. Potts, D. L. Ramos, J. A. Rosenheim, M. Rundlöf, A. Rusch, A. Sáez, J. Scheper, M. Schleuning, J. M. Schmack, A. R. Sciligo, C. Seymour, D. A. Stanley, R. Stewart, J. C. Stout, L. Sutter, M. B. Takada, H. Taki, G. Tamburini, M. Tschumi, B. F. Viana, C. Westphal, B. K. Willcox, S. D. Wratten, A. Yoshioka, C. Zaragoza-Trello, W. Zhang, Y. Zou, and I. 2019. Steffan-Dewenter. A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. Sci. Adv. 5(10):eaax0121. doi: 10.1126/sciadv.aax0121. PMID: 31663019; PMCID: PMC6795509.
12. Da Rocha, J. R. M., J. R. De Almeida, G. A. Lins, and A. Durval. 2010. Insects as indicators of environmental changing and pollution: a review of appropriate species and their monitoring. Holos environment. 10: 250-262.
13. De Groot, R.S., M. A. Wilson, and R. M. J. Boumans 2002. A typology for the classification,

description and valuation of ecosystem functions, goods and services. Ecol. Econ. 41: 393-408. https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7

14. Dicke, M. 2017. Ecosystem Services of Insects. in: Van Huis, A., and J. K. Tomberlin. eds., Insects as Food and Feed: From Production to Consumption, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands, 61-76.
15. Emmerson, M, M. B. Morales, J. J. Oñate, P. Batary, F. Berendse, J. Liira, T. Avaik, I. Guerrero, R. Bommarco, S. Eggers, T. Pärt, T. Tscharntke, W. Weisser, L. Clement, and J. Bengtsson. 2016. How agricultural intensification affects biodiversity and ecosystem services. Adv. Ecol. Res. 55:43–97. https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2016.08.005
16. Fox, R. 2013. The decline of moths in Great Britain: a review of possible causes: the decline of moths in Great Britain. Insect Conserv. Divers. 6: 5–19. doi: 10.1111/j.1752-4598.2012.00186.x
17. Frouz, J., and V. Jilková. 2008. The effect of ants on soil properties and processes (Hymenoptera: Formicidae). Myrmecological News, 11: 191-199.
18. Gallai, N., J. M. Salles, J. Settele, and B. E. Vaissière. 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. Ecol. Econ. 68: 810–821. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.014
19. Gibb, R., E. Browning, P. Glover-Kapfer, and K. E. Jones. 2019. Emerging opportunities and challenges for passive acoustics in ecological assessment and monitoring. Methods Ecol. Evol. 10, 169–185. doi: 10.1111/2041-210X.13101
20. Garibaldi, L.A., I. Steffan-Dewenter, R. Winfree, M. A. Aizen, R. Bommarco, S. A. Cunningham, C. Kremen, L. G. Carvalheiro, L. D. Harder, O. Afik, I. Bartomeus, F. Benjamin, V. Boreux, D. Cariveau, N. P. Chacoff, J. H. Dudenhöffer, B. M. Freitas, J. Ghazoul, S. Greenleaf, J. Hipólito, A. Holzschuh, B. Howlett, R. Isaacs, S. K. Javorek, C. M. Kennedy, K. M. Krewenka, S. Krishnan, Y. Mandelik, M. M. Mayfield, I. Motzke, T. Munyuli, B. A. Nault, M. Otieno, J. Petersen, G. Pisanty, S. G. Potts, R. Rader, T. H. Ricketts, M. Rundlöf, C. L. Seymour, C. Schüepp, H. Szentgyörgyi, H. Taki, T. Tscharntke, C. H. Vergara, B. F. Viana, T. C. Wanger, C. Westphal, N. Williams, and A. M. Klein. 2013. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. Science, 339, 1608-1611. https://doi.org/10.1126/science.1230200
21. Ghini, S., M. Fernandez, Y. Pico, R. Marin, F. Fini, J. Manes, and S. Girotti, S. 2004. Occurrence and distribution of pesticides in the province of Bologna, Italy, using honeybees as bioindicators. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 47: 479-488. https://doi.org/10.1007/s00244-003-3219-y
22. Gimesi, L. 2012. The effect of climate change on the phenology of moth abundance and diversity. Appl. Ecol. Environ. Res. 10, 349–363. doi: 10.15666/aeer/1003_349363
23. Gullan, P.J., and P. S. Cranston. 2010 The insects: an outline of entomology. Wiley-Blackwell Press. Hoboken, N.J. 584 pp.
24. Hallmann, C. A., M. Sorg, E. Jongejans, H. Siepel, N. Hofland, H. Schwan, W. Stenmans, A. Müller, H. Sumser, T. Hörren, D. Goulson, and H. de Kroon. 2017. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. PLoS ONE 12:e0185809. doi: 10.1371/journal.pone.0185809
25. Heraty, J., D. Yanega, and S. Triapitsyn. 2020. Museum specimen preparation guidelines (incl. Vouchers). Available online at: https://entmuseum.ucr.edu/specimen_preparation/index.html.
26. Hilsenhoff, William L. 1998. A modification of the biotic index of organic stream pollution

to remedy problems and permit its use throughout the year. The great lakes entomologist. 31 (1): 1-12

27. Hodek, I. 1973. Biology of Coccinellidae. Academia, Prague & Dr. W. Junk, The Hague, 260 pp.
28. Hoehn, P., T. Tscharntke, J. M. Tylianakis, and I. Steffan-Dewenter, I. 2008. Functional group diversity of bee pollinators increases crop yield. Proc. R. Soc. B: Biol. Sci. 275: 2283-2291. https://doi.org/10.1098/rspb.2008.0405
29. Hölldobler, B. and E. O. Wilson. 1990. The ants. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, USA. 752 pp.
30. Huang, L., K. Zhou, W. Zhang, X. Deng, W. V. D. Werf, Y. Lu, K. Wu, and M. W. Rosegrant. 2018. Uncovering the economic value of natural enemies and true costs of chemical insecticides to cotton farmers in China. Environ. Res. Lett. 13: 064027. DOI: 10.1088/1748-9326/aabfb0
31. Hurlbert, A., T. Hayes, T. McKinnon, and C. Goforth. 2019. Caterpillars Count! A citizen science project for monitoring foliage arthropod abundance and phenology. Citiz. Sci. Theory Pract. 4:1-12. https://doi.org/10.5334/cstp.148
32. Insect survey aids decision-making for farmers and environment. Avlabile at https://www.ukri.org/about-us/how-we-are-doing/research-outcomes-and-impact/bbsrc/insect-survey-aids-decision-making-for-farmers-and-environment/
33. Iperti, G. 1999. Biodiversity of predaceous coccinellidae in relation to bioindication and economic importance. Agriculture. Ecosyst. Environ. 74:323–342.
34. Jankielsohn, A. 2018. The importance of insects in agricultural ecosystems. Adv. in Entomol. 6: 62-73.
35. Khalifa, S. A. M., E. H. Elshafiey, A. A. Shetaia, A. A. A. El-Wahed, A. F. Algethami, S. G. Musharraf, M. F. AlAjmi, C. Zhao, S. H. D. Masry, M. M. Abdel-Daim, M. F. Halabi, G. Kai, Y. Al Naggar, M. Bishr, M. A. M. Diab, and H. R. El-Seedi. 2021. Overview of Bee Pollination and Its Economic Value for Crop Production. Insects. 12:688. doi: 10.3390/insects12080688.
36. Kim, K.C. 1993. Biodiversity, Conservation and Inventory: Why Insects Matter. Biodivers. Conserv. 2: 191-214. https://doi.org/10.1007/BF00056668
37. Kromp, B. 1999. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. Agric. Ecosyst. Environ. 74: 187-228. https://doi.org/10.1016/S0167-8809
38. Lange, K. W., and Y. Nakamura. 2021. Edible insects as future food: chances and challenges. J. Future Foods. 1: 38–46. doi: 10.1016/j.jfutfo.2021.10.001
39. Liu, Y., J. C. Axmacher, L. Li, C. Wang, and Z. Yu. 2007. Ground beetle (Coleoptera: Carabidae) inventories: a comparison of light and pitfall trapping. Bull. Entomol. Res. 97, 577–583. doi: 10.1017/S0007485307005299
40. Losey, J.E. and M. Vaughan. 2006. The Economic Value of Ecological Services Provided by Insects. BioScience, 56: 311-323.
41. Macgregor, C. J., D. M. Evans, R. Fox, and M. J. O. Pocock. 2017. The dark side of street lighting: impacts on moths and evidence for the disruption of nocturnal pollen transport. Glob. Change Biol. 23, 697–707. doi: 10.1111/gcb.13371
42. Malaise, R. 1937. A new insect-trap. Entomol. Tidskr. 58, 148–160.
43. Mazon, M., and S. Bordera. 2008. Effectiveness of two sampling methods used for

collecting Ichneumonidae (Hymenoptera) in the Caba~neros National Park (Spain).
44. Eur. J. Entomol. 105:879–888.
45. Mejer, J. D. 1984. The influence of ants on seeding operations in Northern Australian
1、mined areas. Reclam. Reveg. Res. 2: 299–313.
46. Melbourne, B. A. 1999. Bias in the effect of habitat structure on pitfall traps: an experimental evaluation. Aust. J. Ecol. 24:228–239.
47. Matlock, R. B., Jr., and R. de la Cruz. 2003. Ants as indicators of pesticide impacts in banana. Environmental Entomology 32: 816-829.
48. Michener, W. K. 2015. Ecological data sharing. Ecol. Inform. 29: 33–44. doi: 10.1016/j.ecoinf.2015.06.010
49. Moericke. 1951. Eine Farbafalle zur Kontrolle des Fluges von Blattlausen, insbesondere der Pfirsichblattlaus, Myzodes persicae (Sulz.). Nachrichtenblatt Dtsch. Pflanzenschutzdiensten 3: 23–24.
50. Montgomery, G. A., M. W. Belitz, R. P. Guralnick, and M. W. Tingley. 2021. Standards and best practices for monitoring and benchmarking insects. Front Ecol. Evol. 8: 579193. https://doi.org/10.3389/fevo.2020.579193
51. Nicholsa, E., T. Larsenb, S. Spectora, A. L. Davise, C. F. Esobarc, M. Favilad, and K. Vulinece. 2007. Global dung beetle response to tropical forest modification and fragmentation: A quantitative literature review and meta-analysis. Biologic. Conserv. 137: 1–19.
52. Outhwaite, C. L., G. D. Powney, T. A. August, R. E. Chandler, S. Rorke, O. L. Pescott, M. Harvey, H. E. Roy, R. Fox, D. B. Roy, K. Alexander, S. Ball, T. Bantock, T. Barber, B. C. Beckmann, T. Cook, J. Flanagan, A. Fowles, P. Hammond, P. Harvey, D. Hepper, D. Hubble, J. Kramer, P. Lee, C. MacAdam, R. Morris, A. Norris, S. Palmer, C. W. Plant, J. Simkin, A. Stubbs, P. Sutton, M. Telfer, I. Wallace, and N. J. B. Isaac. 2019. Annual estimates of occupancy for bryophytes, lichens and invertebrates in the UK, 1970–2015. Sci Data 6: 259. https://doi.org/10.1038/s41597-019-0269-1
53. Peck, S. L., B. Mcquaid, and C. L. Campbell. 1998. Using ant species (Hymenoptera: Formicidae) as a biological indicator of agroecosystem condition. Environ. Entomol. 27: 1102-1110.
54. Penone, C., I. L. Viol, V. Pellissier, J. F. Julien, Y. Bas, and C. Kerbiriou. 2013. Use of large-scale acoustic monitoring to assess anthropogenic pressures on orthoptera communities. Conserv. Biol. 27, 979–987. doi: 10.1111/cobi.12083
55. Pimentel, D. 2005. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. Environ. Dev. Sustain. 7: 229-252.
56. Raven, P. H., and D. L. Wagner. 2021. Agricultural intensification and climate change are rapidly decreasing insect biodiversity. Proc. Natl. Acad. Sci. 118(2) e2002548117. https://doi.org/10.1073/pnas.2002548117
57. Rusek, J. 1998. Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem.
1、Biodivers. Conserv. 7: 1207–1219.
58. Samways, M.J. 1993. Insects in Biodiversity Conservation: Some Perspectives and Directives. Biodivers. Conserv. 2: 258-282. https://doi.org/10.1007/BF00056672
59. Samways, M.J. 2005. Insect Diversity Conservation. Cambridge University Press, New York, 25-29. https://doi.org/10.1017/CBO9780511614163

60. Schmucki, R., G. Pe'er, D. B. Roy, C. Stefanescu, C. A. M. V. Swaay, T. H. Oliver, M. Kuussaari, A. J. V. Strien, L. Ries, and J. Settele. 2016. A regionally informed abundance index for supporting integrative analyses across butterfly monitoring schemes. J. Appl. Ecol. 53, 501–510. doi: 10.1111/1365-2664.12561
61. Schoonhoven, L.M., J. J. A.Van Loon, and M. Dicke 2005. Insect-Plant Biology. Oxford University Press, Oxford, UK, 400 pp.
62. Shortall, C. R., A. Moore, E. Smith, M. J. Hall, I. P. Woiwod, and R. Harrington. 2009. Long-term changes in the abundance of flying insects. Insect Conserv. Divers. 2: 251–260. doi: 10.1111/j.1752-4598.2009.00062.x
63. Skvarla, M. J., J. L. Larson, and A. P. G. Dowling. 2014. Pitfalls and preservatives: a review. J. Entomol. Soc. Ont. 145: 15-43. https://journal.lib.uoguelph.ca/index.php/eso/article/view/3734
64. Stepanian, P. M., S. A. Entrekin, C. E. Wainwright, D. Mirkovic, J. L. Tank, and J. F. Kelly. 2020. Declines in an abundant aquatic insect, the burrowing mayfly, across major North American waterways. Proc. Natl. Acad. Sci. 117: 2987-2992.
65. Stork, N.E., J. McBroom, C. Gely, and A. J. Hamilton, A.J. 2015. New approaches Narrow Global Species Estimates for Beedtles, Insects, and Terrestrial arthropods. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 112: 7519-7523. https://doi.org/10.1073/pnas.1502408112
66. Symondson, W.O.C., K. D. Sunderland, and M. H. Greenstone, M.H. 2002. Can generalist predators be effective biocontrol agents? Ann. Rev. Entomol. 47: 561-594. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.47.091201.145240
67. Valtonen, A., A. Hirka, L. Szocs, M. P. Ayres, H. Roininen, and G. Csóka. 2017. Long-term species loss and homogenization of moth communities in Central Europe. J. Anim. Ecol. 86, 730–738. doi: 10.1111/1365-2656.12687
68. van Klink, R., D. E. Bowler, K. B. Gongalsky, A. B. Swengel, A. Gentile, and J. M. Chase. 2020. Meta-analysis reveals declines in terrestrial but increases in freshwater insect abundances. Science 368, 417–420. doi: 10.1126/science.aax9931
69. Visser, M. E., and P. Gienapp. 2019. Evolutionary and demographic consequences of phenological mismatches. Nat. Ecol. Evol. 3, 879–885. doi: 10.1038/s41559-019-0880-8
70. Vrdoljak, S. M., and M. J. Samways. 2012. Optimising coloured pan traps to survey flower visiting insects. J. Insect Conserv. 16, 345–354. doi: 10.1007/s10841-011-9420-9
71. Wagner, D. L. 2020. Insect declines in the anthropocene. Annu. Rev. Entomol. 65: 457–480. doi: 10.1146/annurev-ento-011019-025151
72. Wagner, D. L., E. M. Grames, M. L. Forister, M. R. Berenbaum, and D. Stopak. 2021. Insect decline in the Anthropocene: Death by a thousand cuts. Proc. Natl. Acad. Sci. 118: e2023989118.
73. Wepprich, T., J. R. Adrion, L. Ries, J. Wiedmann, and N. M. Haddad 2019. Butterfly abundance declines over 20 years of systematic monitoring in Ohio, USA. PLoS ONE 14:e0216270. doi: 10.1371/journal.pone.0216270
74. Wilcove, D. S., D. Rothstein, J. Dubow, A. Phillips, and E. Losos. 1998. Quantifying threats to imperiled species in the United States: Assessing the relative importance of habitat destruction, alien species, pollution, overexploitation, and disease. Bioscience. 48:607–615. https://doi.org/10.2307/1313420
75. Wyckhuys, K. A. G., Y. Lu, W. Zhou, M. J. W. Cock, S. E. Naranjo, A. Fereti, F. E. Williams, and M.J. Furlong. 2020. Ecological pest control fortifies agricultural growth in

Asia-Pacific economies. Nat. Ecol. Evol. 4:1522–1530. doi:10.1038/s41559-020-01294-y

76. Yi, Z., F. Jinchao, X. Dayuan, S. Weiguo, and J. C. Axmacher. 2012. A comparison of terrestrial arthropod sampling methods. J. Resour. Ecol. 3:174–182.
77. Zabel, F., R. Delzeit, J. M. Schneider, R. Seppelt, W. Mauser, and T. Václavík. 2019. Global impacts of future cropland expansion and intensification on agricultural markets and biodiversity. Nat. Commun. 10:1–10. https://doi.org/10.1038/s41467-019-10775-z
78. Zahoor, M.K., A. Suhail, J. Iqbal, and Z. Zulfaqar. 2003. Biodiversity of predaceous coccinellids and their role as bioindicators in an agro-ecosystem. Int. J. Agric. Biol. 5:555–559.
79. Zhang, Z.Q. 2011. Animal Biodiversity: An Introduction to Higher-level classification and Taxonomic richness. Zootaxa. 3148: 7-12.
80. Zhou, Y., H. Zhang, D. Liu, A. Khashaveh, Q. Li, K. A. Wyckhuys,and K. Wu. 2023. Long-term insect censuses capture progressive loss of ecosystem functioning in East Asia. Sci. Adv. 9(5), eade9341.
81. Ziesche, T. M., J. Bell, F. Ordon, E. Schliephake, and T. Will. 2020. Long-term monitoring of insects in agricultural landscapes. Mitteilungen der DGaaE. 22: 101-106.

附錄：

表 1. LTER 樣區

站別	位置	調查標的	成立年分
核心站	苗栗苑裡-稻鴨莊	水稻	2016
核心站	南投名間茶園	茶	2011
核心站	嘉義分所	荔枝	2006
核心站	嘉義分所-古坑農場	荔枝	2009
核心站	嘉義分所-溪口農場	水稻、落花生	2006
核心站	台南改良場-雲林分場	水稻、落花生	2006
農業衛星站	苗栗西湖	文旦	2020
農業衛星站	新竹峨嵋	桶柑	2020
農業衛星站	彰化大村	葡萄	2023
農業衛星站	南投埔里	百香果	2022
農業衛星站	台南麻豆	文旦	2020
農業衛星站	高雄燕巢	印度棗	2020
農業衛星站	屏東枋山	芒果	2020
農業衛星站	花蓮富里	水稻	2020
農業衛星站	台東池上	水稻	2020
農業衛星站	台東卑南	番荔枝	2020
漁業衛星站	高雄永安	石斑魚	2020
漁業衛星站	屏東枋寮	午仔魚	2020
候選衛星站	台東長濱	芭蕉	2021

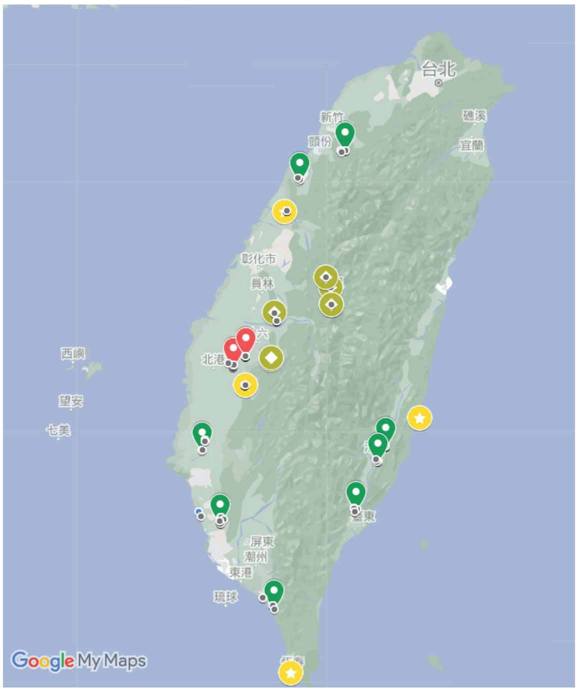

圖 1. LTER 樣區位置圖

表 2. 不同農法果樹樣站不同生育期直翅目昆蟲調查數量

果樹樣站/調查數量	開花期		小果期		中果期		採收期	
	慣行	有機	慣行	有機	慣行	有機	慣行	有機
麻豆	2--17	1--17	0--4	1--18	1--11	1--16	2--3	1--46
西湖	0--1	0--4	0--4	0--38	0--10	1--59	0--21	3--29
峨眉	1--16	9--91	0--7	0--17	0--25	0--40	0--21	2--59
卑南	0--5	5--44	0--3	0--43	0--1	0--31	0--1	0--33
燕巢	0--3	0--30	0--3	4--48	0--1	6--33	0--36	0--15

表 3. 不同農法果樹樣站不同生育期直翅目科級分類群調查數量

果樹樣站/農法/調查數量	麻豆		西湖		峨眉		卑南		燕巢	
	慣行	有機	慣行	有機	慣行	有機	慣行	有機	慣行	有機
Acrididae	10	40	35	152	145	403	9	274	26	268
Gryllacridae	0	0	0	0	0	0	0	6	1	0
Gryllidae	34	149	0	0	22	23	2	55	22	107
Pyrgomorphidae	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0
Tetrigidae	0	15	0	6	0	13	0	7	0	8
Tettigoniidae	10	26	54	104	40	115	1	136	15	84
Tridactylidae	0	6	0	0	0	4	0	0	0	0

表 4. 不同農法果樹樣站不同生育期蟻科調查數量

果樹樣站/農法/不同生育期/調查數量	麻豆		西湖		峨眉		卑南		燕巢	
	慣行	有機	慣行	有機	慣行	有機	慣行	有機	慣行	有機
開花期	128	473	18	170	160	944	298	1429	43	265
小果期	294	789	132	420	606	3479	109	742	16	331
中果期	436	1315	140	2411	734	3375	222	1153	30	539
採收期	925	1609	401	1692	73	707	29	428	277	355

Agricultural Long-term Ecosystem Insect Survey, Analysis Application and Precautions

Yaw-Jen Dong[1]*, Pei-Chen Hsu[2]*, Wan-Hsiu Yang[3]*, Chi-Feng Lee[4], Mei-Jung Tseng[5], Shu-Pei Chen[6], Chi-Yang Lee[7], Hsien-Tzung Shih[8]*, Yu-Tzu Hsu[9], Li Lin[10], Tai-Yuan Chen[11], Tung-Hsen Liu[12], Kuo-Hung Chuang[13], Ying-Cheng Chen[14], and Chia-Chen Pan[15]

1 Assistant Researcher Taiwan Agricultural Research Institute; yjdong@tari.gov.tw
2 Assistant Researcher Taiwan Agricultural Research Institute; bchen@tari.gov.tw
3 Assistant Researcher Taiwan Agricultural Research Institute; whyang@tari.gov.tw
4 Associate Researcher Taiwan Agricultural Research Institute; chifeng@tari.gov.tw
5 Project Assistant Taiwan Agricultural Research Institute; archiveppc@tari.gov.tw
6 Researcher Taiwan Agricultural Research Institute; spchen@tari.gov.tw
7 Assistant Researcher Taiwan Agricultural Research Institute; cylee@tari.gov.tw
8 Researcher and Division Director Taiwan Agricultural Research Institute; htshih@tari.gov.tw
9 Assistant Researcher Taitung District Agricultural Research and Extension Station; ythsu@mail.ttdares.gov.tw
10 Assistant Researcher Hualien District Agricultural Research and Extension Station; llin@hdares.gov.tw
11 Assistant Researcher Kaohsiung District Agricultural Research and Extension Station; taiyuan@mail.kdais.gov.tw
12 Assistant Researcher Miaoli District Agricultural Research and Extension Station; Liuth@mdais.gov.tw
13 Associate Researcher Taoyuan District Agricultural Research and Extension Station; khchuang@tydais.gov.tw
14 Assistant Researcher Tainan District Agricultural Research and Extension Station; cychen@mail.tndais.gov.tw
15 Assistant Researcher Tainan District Agricultural Research and Extension Station; ccpan@mail.tndais.gov.tw
*Correspondence: yjdong@tari.gov.tw: bchen@tari.gov.tw: whyang@tari.gov.tw: htshih@tari.gov.tw

Abstract

About 80% of animals on the planet are insects, which provide us with ecological services that we often do not noticed. They serve as plant pollinators, decomposers of organic matter such as animal carcasses and plant residues, removers of animal manure, soil conditioners, producers of natural fertilizers, and regulators of crop pests and diseases. Intensive agricultural production, especially the application of chemical pesticides, is one of the main factors contributing to the decline in insect diversity. The loss of ecosystem service functions provided by insects directly has a serious impact on agricultural production, leading to a crisis in human food supply. Long-term insect surveys in agro-ecosystems can help agricultural authorities understand the long-term impacts of different farming practices, climate change, and environmental changes on insect diversity and ecosystem services they provide, providing a strong scientific basis for policy formulation. To achieve these goals, it is essential to standardize the execution of survey work, preserve long-term formatted data, foster cross-disciplinary sharing and analysis and application.

Keywords: Long-term agricultural ecology, insects, monitoring surveys, data analysis applications